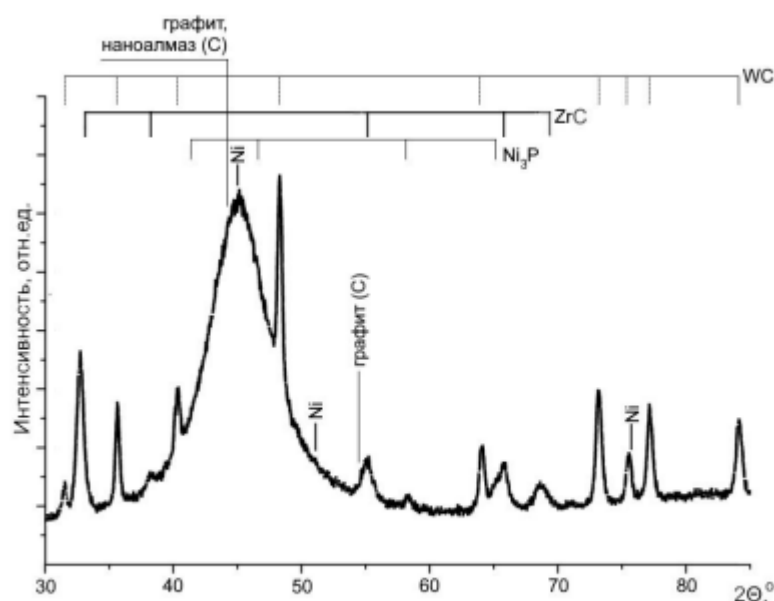


## **Формирование и структура Ni - наноалмазы /ZrC покрытий на твердом сплаве**

В деревообработке широко используются резцы фрезерного инструмента из сплава карбида вольфрама WC–Co. Однако полностью соответствовать требованиям современной обработки древесины, связанной с использованием высоких скоростей резания, такие инструменты не могут. В настоящее время достигнуто существенное улучшение характеристик инструментальных материалов путем нанесения модифицированных покрытий с применением различных технологий их осаждения, среди которых одной из основных тенденций является развитие гибридных (комбинированных) технологий [1]. Целью данной работы было сформировать на поверхности ножей фирмы Leitz (Германия) концевой фрезы для деревообработки комбинированные гальвано-ионно-плазменные никель - наноалмазы детонационного синтеза (ДНА) Ni-ДНА /ZrC покрытия и исследовать их структуру и элементный состав.

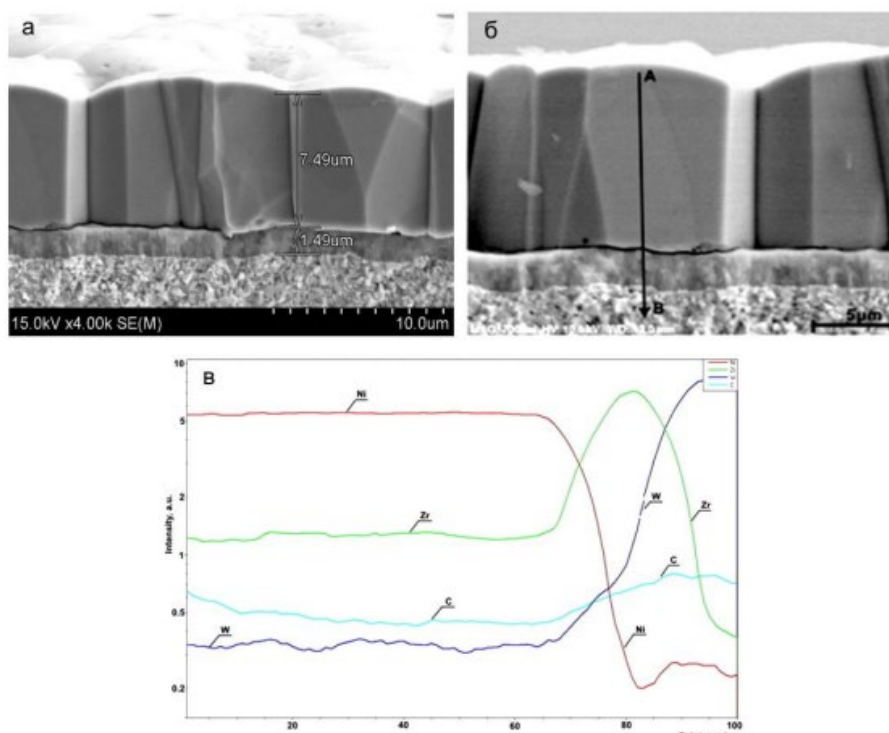
ZrC покрытия осаждались методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) на установке ВУ-МБС «Булат» на поверхность ножей фрезы по стандартной методике [1]. Затем на поверхности сформированных ZrC пленок были получены химическим способом Ni-ДНА покрытия. Перед осаждением Ni-ДНА покрытий проводилась стандартная подготовка образцов [1]. Химическое осаждение никеля проводили при высокой температуре (96°C) из раствора на основе гипофосфита натрия следующего состава: NiSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O (200,0 г/л), NaCl (20,0 г/л), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (20,0 г/л), Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> (25,0 г/л) с добавлением шихты ДНА (~1 г/л) марки «УДА-ВК» фирмы ЗАО «Синта» (г. Минск, Беларусь) с последующей термообработкой при температуре 350°C в течение 90 мин. Фазовый состав синтезированных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku) в Cu-K $\alpha$  излучении в скользящем режиме под углом 5°. Морфология покрытий и элементный состав образцов исследовались методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), энергодисперсионного спектрального рентгеновского анализа (ЭДС) с использованием электронного микроскопа Hitachi S-4800. РСА сформированных Ni-ДНА /ZrC покрытий показывает на лиграмме отчетливо наблюдаются рефлексы, соответствующие кристаллографическим отражениям от плоскостей решеток карбида вольфрама

WC и металлического никеля  $\alpha$ -Ni. С учетом исследований наноалмазных пленок [2] можно заключить, что интенсивный пик никеля от плоскости (111) содержит при  $43,9^\circ$  пик наноалмаза от (111), в то время как пик наноалмаза от (220) при дифракции около  $2\theta \sim 75,3^\circ$  перекрывается с пиком WC и Ni (220). Также наблюдается текстура {111} покрытия Ni-ДНА. Наличие широкого галло в области  $2\theta$ , равном  $40\text{--}54^\circ$ , как показывает рисунок 1 свидетельствует о достаточной аморфизации сформированного Ni-ДНА слоя, содержащего ДНА и графитоподобную фазу, подтверждая исследования [3]. Таким образом, сформированное Ni-ДНА /ZrC покрытие содержит отдельные фазы ZrC,  $\alpha$ -Ni, Ni<sub>3</sub>P и NiДНА соединение с аморфной структурой.



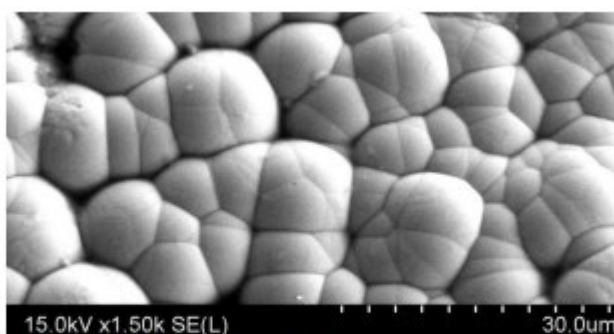
**Рисунок 1 – Рентгенограмма Ni-ДНА /ZrC покрытия**

Ni-ДНА /ZrC покрытие имеют слоистую столбчатую структуру, состоящую из ионно-плазменного слоя ZrC, который не перемешивается с верхним гальваническим Ni-ДНА слоем и основой (рис. 2). Толщина Ni-ДНА слоя ( $7,49\ \mu\text{м}$ ) значительно превосходит толщину ZrC ( $1,49\ \mu\text{м}$ ) слоя Ni-ДНА /ZrC покрытия (рис. 2а). Кроме того, столбчатая структура ZrC слоя отличается от столбчатой структуры Ni-ДНА слоя (рис. 2а, б). Распределение рентгеновского излучения элементов Ni, Zr, W и C (рис. 2в) вдоль линии АВ (рис. 2б) показывает изменение концентрации Ni, Zr, W элементов на границе слоев, а также незначительное увеличение содержания углерода вблизи поверхности верхнего слоя и заметный рост его концентрации в основе.



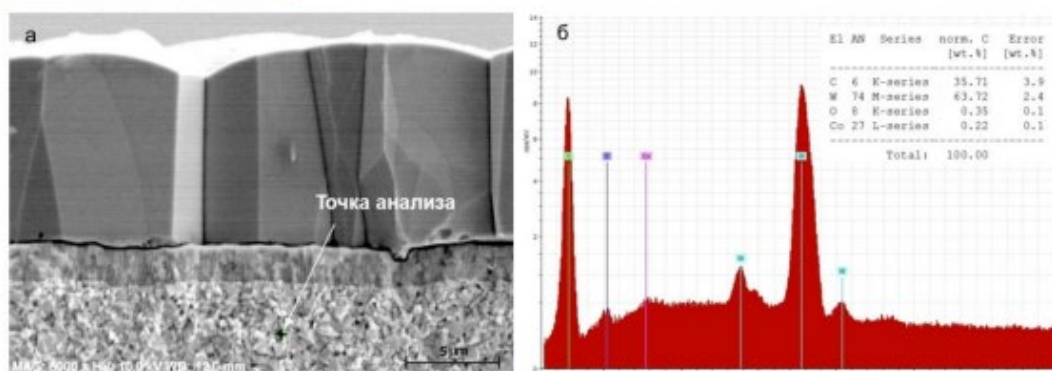
**Рисунок 2 – Микроструктура Ni-ДНА /ZrC покрытия:  
СЭМ-снимок излома ножа с покрытием (а), (б) и распределение рентгеновского излучения элементов (Ni, Zr, W, C) вдоль линии АВ (в)**

Поверхность верхнего Ni-ДНА слоя покрытия (рис. 3) имеет характерную структуру в виде глобулярных образований, сформированных, как доказано в исследованиях [4], фосфидом никеля.



**Рисунок 3 – Морфология поверхности Ni-ДНА /ZrC покрытия (Ni<sub>3</sub>P) и кластерами наноалмазов**

СЭМ-снимки излома образца (рис. 4а) показали мелкокристаллическую структуру ножа фирмы Leitz. Выполненный рентгеноспектральный микроанализ химического состава ножа (рис. 4б) показал наличие в нем  $\Sigma 65$  вес.% W и  $\Sigma 35$  вес.% C, что соответствует согласно исследованиям [5] содержанию  $\Sigma 75$  вес.% W<sub>2</sub>C,  $\Sigma 15$  вес.% W и  $\Sigma 10$  вес.% WC и, следовательно, составу твердого сплава карбида вольфрама W<sub>2</sub>C.



**Рисунок 4 - Микроструктура материала основы:  
СЭМ-снимок излома ножа с покрытием (а),  
ЭДС и элементный состав ножа (б)**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Structural and mechanical properties of the ZrC/Ni-nanodiamond coating synthesized by the PVD and electroplating processes for the cutting knives / V. Chayeuski [et al.] // JMEP. – 2019. – Vol. 28, no. 3. – P. 1278–1285.
2. Sandblasting pretreatment for deposition of diamond films on WCCo hard metal substrates / X. Shen [et al.] // Diamond and Related Materials. – 2017. – No. 73. – P. 7–14.
3. Мамаев, В.И. Никелирование / В.И. Мамаев, В.Н. Кудрявцев / под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2014. – 198 с.
4. Tseluikin, V.N. On the structure and properties of composite electrochemical coatings. A review / V.N. Tseluikin // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2016. – Vol. 52, no. 2. – P. 254–266.
5. Гусев, А.И. Упорядочение низшего карбида вольфрама W<sub>2</sub>C / А.И. Гусев, А.С. Курлов // Письма в ЖЭТФ. – 2007. – Т. 85, вып. 1. – С. 40–45.